

AKW von morgen werden bereits entwickelt

INTERNATIONAL Reaktoren der dritten Generation im Bau – Vorentscheide für die vierte Generation schon gefallen – Gehört kleinen, modularen Reaktoren die Zukunft?

MARTIN GOLLMER

Deutschland und die Schweiz mögen nach der Kernschmelze in Fukushima den Atomausstieg beschlossen und Japan seine fünfzig noch betriebsfähigen Reaktoren zumindest temporär abgeschaltet haben – doch weltweit gesehen geht der Ausbau der Nuklearenergie weiter. Gemäss Zahlen des Branchenverbands World Nuclear Association sind gegenwärtig global 63 Reaktoren in Bau, 160 in Planung und 329 vorgeschlagen – am meisten in China, Indien und Russland (vgl. Tabelle). Betriebsbereit – aber nicht unbedingt in Betrieb – waren zum selben Zeitpunkt 433 Reaktoren.

Gewiss, die Katastrophe in Fukushima wird bei zahlreichen Bauten und Projekten zu Verzögerungen führen (etwa weil die Sicherheitskonzepte überprüft und angepasst werden müssen). Und nicht alles, was geplant und vorgeschlagen ist, wird schliesslich auch gebaut (etwa weil die Bevölkerung dagegen opponiert, die Finanzierung nicht klappt oder die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben ist).

Schlicht unverzichtbar

Dennoch: Die Attraktivität der Atomenergie ist ungebrochen. Gründe dafür sind, dass sie günstige Bandenergie liefert und bei der Stromerzeugung kein CO₂ entsteht, das zur Klimaerwärmung beiträgt. In grossen, aufstrebenden Ländern wie China, Indien oder Russland ist Atomenergie schlicht unverzichtbar, wenn genügend Energie zur Aufrechterhaltung des dortigen Wirtschaftswachstums produziert werden soll. Problematisch an der Atomenergie ist aber, dass noch praktisch nirgends Lösungen zur Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle bestehen und dass Unfälle – wie die Beispiele Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) zeigen – langfristige und grossflächige katastrophale Folgen haben können.

Unfälle sorgen indessen nicht nur für potenziell grosse Schäden, sie führen – wenn Lehren daraus gezogen werden – auch zu technologischem Fortschritt. Bereits werden vier Generationen von Reaktortypen unterschieden (vgl. Grafik). Die erste Generation umfasst die frühen Prototypen der Fünfzigerjahre. Ihnen folgten die heute weltweit – auch in der Schweiz – in Betrieb stehenden Atomkraftwerke (AKW) der zweiten Generation.

Parallel dazu sind neue, fortgeschrittene Reaktortypen der dritten Generation entwickelt worden (vgl. Tabelle). Die ersten Atomkraftwerke dieser Generation nahmen 1996 und 1997 in Japan den Betrieb auf. Auch in der Schweiz waren sie vor dem energiepolitischen Kurswechsel



Turbinen in Block 3 des AKW Olkiluoto in Finnland. Die Anlage modernster Bauart soll nach grossen Verzögerungen 2014 in Betrieb gehen.

für die Erneuerung des bestehenden Nuklearkraftwerks vorgesehen.

Atomkraftwerke der dritten Generation sind so konzipiert, dass bei allen betrieblich vorstellbaren Unfällen keine massgeblichen Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung freigesetzt werden. Bei den Reaktoren wurde insbesondere die Verlässlichkeit der Notkühlsysteme zur Verhinderung einer Kernschmelze verbessert. Zudem wurden sogenannte passive Sicherheitssysteme konzipiert. Sie basieren auf Naturgesetzen wie beispielsweise der Schwerkraft. Im Unterschied zu aktiven Systemen benötigen sie keine Pumpen oder Ventile und erfüllen ihre Funktion ohne Energiezufuhr von aussen. Reaktortypen der dritten Generation sind heute marktreif. Auf dem Weltmarkt bieten mehrere Hersteller solche Atomkraftwerke an (vgl. Text rechts).

Bereits arbeiten Wissenschaftler an der vierten Generation von Reaktoren für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts. Auf Initiative der USA haben sich 2001 neun Länder zum Generation IV International Forum (GIF) zusammengeschlossen. Heute sind dreizehn Partner beteiligt: Argentinien, Brasilien, China, Frankreich,

Grossbritannien, Japan, Kanada, Russland, die Schweiz, Südafrika, Südkorea, die USA und die EU-Organisation Euratom. Ziel ist es, neue Reaktoren und Brennstoffe zu entwickeln, die den Ressourcenverbrauch drastisch reduzieren, die Menge des radioaktiven Abfalls erheblich vermindern und den Missbrauch für Atomwaffen wesentlich erschweren.

Hintertürchen offen

Aus rund 130 Vorschlägen hat das GIF sechs Reaktorsysteme für die Weiterentwicklung ausgewählt (vgl. Tabelle). Bis sie marktreif sind, werden noch viele Jahre vergehen. Aus heutiger Sicht werden in den nächsten beiden Jahrzehnten keine kommerziellen Reaktorsysteme der vierten Generation zur Verfügung stehen. In der Schweiz wird diskutiert, ob man sich ein Rückkommen auf den Atomausstieg vorbehalten soll für den Fall, dass bahnbrechende technologische Neuerungen die Nuklearenergie in neuem Licht erscheinen lassen.

Gleichzeitig mit dieser Grosstechnologie werden kleine modulare Reaktorsysteme (Small Modular Reactors, SMR) ent-

wickelt. Manche von ihnen sind schon weit fortgeschritten und sollen noch im laufenden Jahr den zuständigen Behörden zur Bewilligung für den kommerziellen Einsatz unterbreitet werden (vgl. Tabelle). Bereits im Bau ist in Russland ein schwimmender SMR für den Einsatz in Sibirien. In China steht ein Kleinreaktor in Shidaowan unmittelbar vor Baubeginn.

Wie Grossreaktoren der dritten Generation erfüllen SMR höchste Sicherheitsstandards. Sie benötigen wenig Wartung und können ohne Nachladung jahrelang Energie liefern. Wegen ihrer geringen Grösse können sie auch unterirdisch in Kavernen gebaut werden. SMR erlauben es den Betreibern, sie schrittweise Modul um Modul nach dem Baukastensystem zu erweitern. Kleine, modulare Reaktorsysteme eignen sich als Energielieferanten für Grossindustrien oder für abgelegene Orte mit schwieriger Anbindung ans Stromnetz. Last but not least: SMR sind günstig – der US-Entwickler Gen4 Energy etwa rechnet mit einem Preis von 50 Mio. \$ für einen 25-Megawatt-Reaktor. Der Durchschnittspreis für grosse Atomanlagen beträgt dagegen rund 6 Mrd. \$.

Reaktorbauer zur Auswahl

Areva ist der global führende Hersteller von Nuklearreaktoren. Der Konzern aus Frankreich führt gleich drei Typen der dritten Generation in seinem Portfolio (vgl. Tabelle): Vom Flaggsschiff EPR sind vier Einheiten im Bau, darunter auch Block 3 des AKW Olkiluoto in Finnland, der mit massiven Bauzeit- und Kostenüberschreitungen von sich reden machte. Der EPR, der aufgrund seiner fortgeschrittenen Technologie als Generation III+-Reaktor gilt, ist gedacht für Länder mit grossem Strombedarf und Hochleistungsstromnetzen. Die zwei weniger leistungsfähigen Reaktortypen, Atoma1 und Kerena, sind konzipiert für Staaten mit geringerem Stromkonsum und weniger entwickelter Strominfrastruktur. Für sie liegen noch keine Aufträge vor.

Anleger, die einen fast reinen Nukleartechnologiekonzern suchen – er verfügt auch noch über ein kleines Windturbinengeschäft –, kommen um Areva kaum herum. Zu beachten sind dabei auch politische Risiken: Der französische Staat ist Mehrheitsaktionär von Areva, und die Vergabe von AKW-Bauten unterliegt meistens starken politischen Einflüssen.

Wichtiger Konkurrent von Areva ist die amerikanische Westinghouse. Ihr Spitzenprodukt ist der AP 1000, ebenfalls ein Reaktor der Generation III+. Mit diesem Produkt scheint Westinghouse in China, wo vier Einheiten bereits im Bau sind, und in den USA gross ins Geschäft zu kommen. **Westinghouse gehört zum in Tokio kotierten Elektrotechnikkonzern Toshiba,** der zusammen mit General Electric (USA) und Hitachi (Japan) noch einen weiteren Reaktor – den ABWR – im Angebot hat.

Toshiba hat Block 3 des AKW Fukushima gebaut, der im März 2011 nach einem Erdbeben und Tsunami explodierte. Toshiba **war zusammen mit General Electric auch am Bau des ebenfalls verfallenen Block 2 beteiligt.** Block 1 stammte von General Electric allein, **Block 4 wurde von Hitachi erstellt.** Auch diese beiden Blöcke versagten nach dem Erdbeben und Tsunami. Das Nuklear-Joint-Venture von General Electric und Hitachi baut ebenfalls einen Reaktor der dritten Generation – den ESBWR, der in den USA zum Einsatz kommen soll. Wie die Marktchancen dieser in die Katastrophe von Fukushima verwickelten Konzerne aussehen, bleibt abzuwarten. Anlegern ist zur Vorsicht geraten.

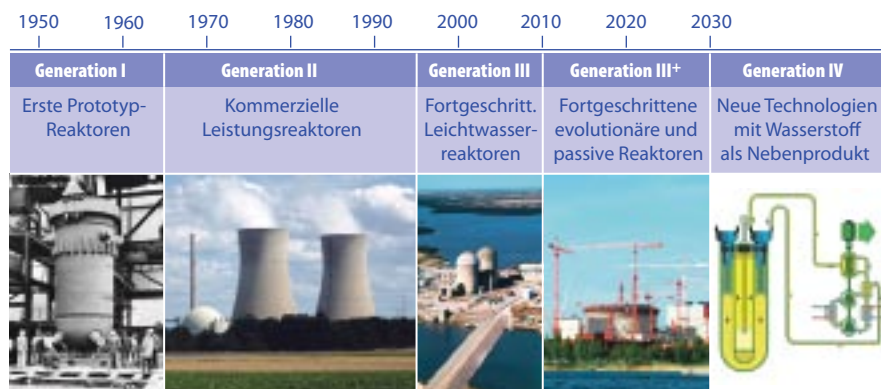
Ein bedeutender Mitspieler im AKW-Bau ist auch Rosatom, die sich ganz unter Kontrolle des russischen Staates befindet. Zwei Exemplare ihres WWER-Reaktors sind in China schon in Betrieb, sieben weitere Einheiten befinden sich in Indien und in Russland im Bau. Das zeigt, dass Rosatom Areva und Westinghouse vor allem in Entwicklungsländern Konkurrenz machen dürfte.

Diesen Markt dürfte auch Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) im Auge haben, die im eigenen Land ihren APR 1400 bauen kann und Aufträge aus den Vereinigten Arabischen Emiraten hat. KHNP ist eine Tochter des in Seoul kotierten Energiekonzerns Korea Electric Power.

Ein weiterer Konstrukteur von Reaktoren der dritten Generation ist Mitsubishi Heavy Industries. Der japanische Schwerindustriekonzern ist mit dem APWR 1500 im eigenen Land und in den USA im Rennen. Nach der Katastrophe in Fukushima sind allerdings die Aussichten in Japan, das alle noch betriebsfähigen Reaktoren stillgelegt hat, ungewiss. Mitsubishi, in Tokyo kotiert, baut zusammen mit Areva auch noch den Reaktor Atoma1.

Für Anleger interessant ist weiter Babcock & Wilcox (B&W). Das US-Unternehmen baut konventionelle und nukleare Energieerzeugungsanlagen. B&W ist nicht nur in der nuklearen Grosstechnologie engagiert, sondern entwickelt in einem Joint Venture mit dem Baukonzern Bechtel Group auch kleine, modulare Reaktoren (SMR; vgl. Tabelle). Wer im Atomenergiebereich innovative Alternativen zu den heutigen Stromerzeugungskomplexen sucht, sollte sich dieses Unternehmen unbedingt anschauen. B&W ist der einzige Entwickler von SMR, der an der Börse kotiert ist. **MG**

Entwicklung der Nuklearreaktoren-Technologie



Quelle: Westinghouse / Grafik: FuW, br

Wo zukünftig AKW gebaut werden

Land	AKW in Bau	AKW in Planung	AKW vorgeschlagen	betriebsfähige AKW
China	26	51	120	15
Russland	10	17	24	33
Indien	7	16	40	20
Kanada	3	3	3	17
Japan	3	10	5	50
Südkorea	3	6	0	23
Pakistan	2	0	2	3
Slowakei	2	0	1	4
Argentinien	1	2	1	2
Brasilien	1	0	4	2
Finnland	1	0	2	4
Frankreich	1	1	1	58
USA	1	11	19	104
Welt	63	160	329	433

Quelle: World Nuclear Association, Stand: Mai 2012

Areva



Quelle: Thomson Reuters / FuW

Atomreaktoren der dritten Generation

System	Lieferant	Grösse	Status der Entwicklung
Druckwasserreaktoren			
AP1000	Westinghouse	1100 MZ	China: 4 Einheiten im Bau, 14 Einheiten vor Baubeginn USA: 4 Einheiten bewilligt, Baugesuche für weitere 10 Einheiten eingereicht
APR 1400	Korea Hydro & Nuclear Power	1400 MW	Südkorea: 2 Einheiten im Bau, 2 Einheiten vor Baubeginn VAE: 4 Einheiten bestellt
APWR 1500	Mitsubishi Heavy Industries	1500 MW	Japan: 3 Einheiten in Planung
US/EU APWR	Areva	1700 MW	USA: Baugesuche für 3 Einheiten eingereicht
EPR	Areva	1600 MW	4 Einheiten im Bau (1 in Finnland, 1 in Frankreich, 2 in China) USA: 4 Baugesuche eingereicht
WWER	Rosatom	1000 bis 1200 MW	China: 2 Einheiten in Betrieb 7 Einheiten im Bau (2 in Indien, 5 in Russland)
Atoma1	Areva/Mitsubishi Heavy Industries	1000 bis 1150 MW	Vorprüfung der französischen Sicherheitsbehörde bestanden
Siedewasserreaktoren			
ABWR	General Electric / Hitachi / Toshiba	1350 bis 1600 MW	Japan: 4 Einheiten in Betrieb, 6 Einheiten in Planung 4 Einheiten im Bau (2 in Japan, 2 in Taiwan) USA: Baugesuche für 2 Einheiten eingereicht
ESBWR	General Electric / Hitachi	1500 MW	USA: Baugesuche für 3 Einheiten eingereicht
Kerena	Areva	1250 MW	Marktreife erreicht, derzeit Systemtests und Weiterentwicklung

Quelle: Nuklearforum Schweiz, Stand: 1. April 2012

Vom GIF ausgewählte Reaktorprojekte der vierten Generation

System	Kühlmedium	Temperatur	Druck	Grösse	Anwendung
Molten Salt Reactor (SMR)	Fluoridsalze	700-800 °C	tief	1000 MW	Strom und Wasserstoff
Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)	Helium	850 °C	hoch	288 MW	Strom und Wasserstoff
Lead-Cooled Fast Reactor (LFTR)	Blei, Bismut	550-800 °C	tief	50-1200 MW	Strom und Wasserstoff
Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR)	Sodium (Natrium)	550 °C	tief	300-1500 MW	Strom
Supercritical Water-Cooled Reactor (SCWR)	Wasser	510-550 °C	sehr hoch	1500 MW	Strom
Very High Temperature Reactor (VHTR)	Helium	1000 °C	hoch	250 MW	Strom und Wasserstoff

Quelle: Axpo

Kleine modulare Reaktorsysteme in fortgeschrittener Entwicklung (Auswahl)

System	Entwickler	Leistung pro Modul	Status der Entwicklung
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor	165 MW	Variante dieses Systems mit 100 MW steht in Shidaowan, China, vor Baubeginn
HI-SMUR	Holtec Int.	145 MW	Design soll bis Ende 2012 in den USA zur Prüfung eingereicht werden
MASLWR	NuScale Power	45 MW	Zurzeit in Vorprüfung in den USA, Bewilligungsgesuch erwartet für 2012
mPower	Babcock & Wilcox	125 MW	Zurzeit in Vorprüfung in den USA, Bewilligungsgesuch erwartet für Ende 2013, Bau geplant in Clinch River, Tennessee
4S	Toshiba	10 MW	Zurzeit in Vorprüfung in den USA, Bewilligungsgesuch erwartet für 2012, Erster Bau geplant in Galena, Alaska
G4M	Gen4 Energy	25 MW	k. A.
TWR	TerraPower	k. A.	k. A.

Quelle: Nuklearforum Schweiz, Stand: April 2012